

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА ДЛЯ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Боков А.С., Важенин В.Г., Дядьков Н.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
проспект Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия
тел.: (343) 375-97-54, e-mail: a.s.bokov@urfu.ru

Аннотация — В докладе рассматриваются особенности преобразования излученного сигнала в аппаратуре полунатурного моделирования для радиолокационных систем при имитации отражения от протяженных поверхностей. Приведенные методы используются для реализации аппаратуры испытаний радиовысотомеров с ЛЧМ-модуляцией частоты и других радиолокационных систем с непрерывным или длительно излучаемым сигналом с возможностью изменения параметров всех сигналов в режиме реального времени.

CONVERSION OF RADAR SIGNAL WHEN SEMINATURAL MODELING OF MULTIPATH PROPAGATION

Bokov A. S., Vazhenin V. G., Dyadkov N. A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
pr. Mira, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
ph.: 375-97-54, e-mail: a.s.bokov@urfu.ru

Abstract — The report examines the features of transformation of the emitted signal in hardware in the loop simulations for radar systems when simulating the reflection from extended surfaces. The methods used to implement instrument testing radio altimeters with chirp modulation frequency and other radar systems with continuous or long-emitted signal with the ability to change parameters of all signals in real-time.

I. Введение

Для проверки аппаратуры и алгоритмов обработки сигналов различных радиоприемных устройств часто требуется получить сигнал на несущей частоте с шумами и искажениями, обусловленными процессом распространения радиоволн от передатчика до приемной антенны. В большинстве радиолокационных задач соответствующий входной тестовый сигнал обязательно должен учитывать особенности **многолучевого отражения** от реальных целей и подстилающей поверхности, наличие движения целей и/или самой радиолокационной системы (РЛС). В зависимости от типа зондирующего сигнала РЛС эффективными могут быть различные методы и алгоритмы формирования сигнала имитирующего принимаемый сигнал.

Для импульсного излучаемого сигнала форма зондирующего сигнала, как правило, постоянна и точно известна, поэтому отраженный сигнал может быть заранее подготовлен в «сигнальной» памяти с учетом параметров моделирования и выдан на вход приемника РЛС, синхронизируясь, например, по сигналу пикового детектора обнаруживающего начало зондирующего импульса. Усложняя детектор, можно подготовить массив сигналов, чтобы учесть возможное изменение фазы (частоты) и/или длительности зондирующего импульса.

Для систем с длительным или непрерывным зондирующим сигналом, часто работающих в так называемом следящем режиме, изменение параметров излучаемого сигнала выполняется в каждом периоде модуляции. Поэтому расчет отраженного сигнала и последующее его воспроизведение необходимо выполнять в реальном масштабе времени путем **преобразования** каждой реализации зондирующего сигнала. При этом автоматически могут быть учтены изменения амплитуд, фаз и длительностей сигналов конкретного радиопередатчика реальной РЛС.

Такой способ замены распространения, отражения и рассеяния зондирующего сигнала в пространстве на его преобразования в некотором устройстве-имитаторе относится к методам **полунатурного моделирования**.

II. Основная часть

Для максимальной адекватности формируемого сигнала программное обеспечение имитатора должно реализовать математическую модель канала многолучевого распространения «РЛС → подстилающая поверхность → РЛС» с учетом параметров зондирующего сигнала и модели фоновой обстановки (ФЦО) при движении летательного аппарата (ЛА) с заданной скоростью по заданной траектории – см. рис. 1.

Аппаратное обеспечение имитатора (на рис. 1 физическая модель канала «РЛС → подстилающая поверхность → РЛС») должно обеспечить управляемое изменение амплитуды, частоты и задержки при формировании отраженного сигнала, эквивалентного многолучевому распространению отраженного сигнала.

В большинстве случаев, в используемых для РЛС СВЧ-диапазонов волн, отражение от целей и поверхностей может быть представлено в виде суммы однократных отражений от «блестящих точек» в пределах пятна облучения зондирующим сигналом [1] – см. рис. 2. Передаточная функция каждого канала $K(t, \tau_i)$ определяет задержку τ_i и затухание при распространении и отражении сигнала, а также вносит доплеровский сдвиг частоты Δf_i .

В более сложном случае возможен учет многократных отражений с увеличением числа каналов n в этой модели.

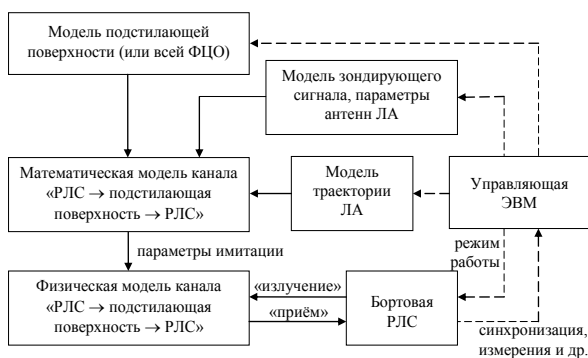


Рис. 1. Полунатурное моделирование отраженного сигнала для РЛС

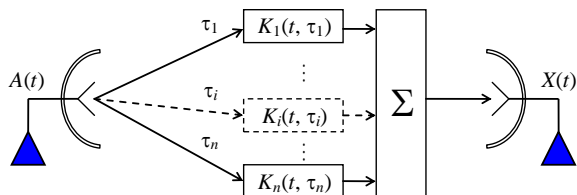


Рис. 2. Упрощенная модель многолучевого распространения сигнала

Для качественного полунатурного моделирования с возможностью изменения всех основных параметров, преобразование сигнала $A(t)$ в $X(t)$ целесообразно выполнять с использованием цифровых методов обработки сигналов [1].

Возможность технической реализации таких методов сегодня осуществима благодаря появлению цифровых процессоров обработки сигналов с производительностью, обеспечивающей преобразование зондирующего сигнала (задержку, доплеровское смещение частоты) в реальном масштабе времени при ширине спектра зондирующего сигнала в десятки-сотни мегагерц, например ИМС 1879BM3(DSM) [2].

Для практической реализации даже упрощенных моделей ФЦО с протяженными поверхностями, представляемых совокупностью блестящих точек, необходимо сокращение числа моделируемых отражателей. Этого можно достичь, например, если увеличить ширину имитируемых участков поверхности и сигнал, отраженный от участка поверхности внутри периода модуляции, считать не сигналом постоянной частоты со случайной начальной фазой и амплитудой, а узкополосным случайным процессом со средней частотой, равной средней частоте сигналов, отраженных от участка поверхности.

Тогда, например, в случае зондирующего сигнала радиовысотомера (РВ) с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) каждому имитируемому участку можно сопоставить один сигнал, задержанный на время τ_i , который на выходе анализатора сигнала в РВ будет соответствовать одной гармонике в дальномерном спектре сигнала. Для корректного полунатурного моделирования для воспроизведения сигнала достаточно частоты квантования порядка 10 ширин рабочей полосы частот устройства обработки. В РВ с ЛЧМ ширина рабочей полосы частот, как правило, не превосходит 10^6 Гц. Учитывая, что частота квантования входного сигнала в [2] составляет 600 МГц, возможна реализация до 60 каналов задержки выходного сигнала путем

последовательной работы каналов считывания сигнала из памяти с различной задержкой. При этом 1 сигнальный канал будет соответствовать 1 блестящей точке или сумме сигналов множества точек/фацетов с поверхности с близкими параметрами по частоте в дальномерном спектре.

В соответствии с [1, 3] создан программно-аппаратный комплекс ИОС-РВ – имитатор отраженных сигналов, который может использоваться для проверки РВ и радиовысотомерных систем (РВС), использующих зондирующие импульсные и ЛЧМ сигналы в диапазоне частот 4,2 – 4,4 ГГц.

Упрощенная структура комплекса содержит отдельные блоки аттенуаторов ($A1, A2$), смесителей ($CM1, CM2$) и гетеродин – см. на рис. 3. Блоки цифровой обработки сигнала АЦП, ЦАП, многоотводная линия задержки на основе цифровой сигнальной памяти, коммутатор сигналов, управляемый специальным тактирующим счётчиком, и блок сдвига частот Δf_i реализуется на одной ИМС 1879BM3(DSM).

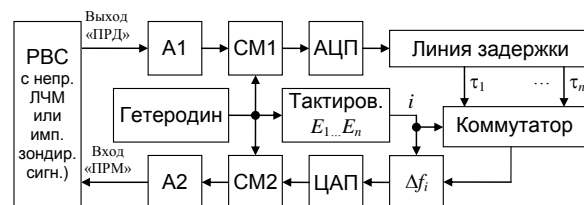


Рис. 3. Структура комплекса ПНМ ИОС-РВ

Все параметры преобразования входного сигнала, поступающего с РВС, могут меняться с помощью ЭВМ (на рис. 3 не показана) из ПО моделирования конкретной траектории полёта ЛА над заданным типом подстилающей поверхности. Для повышения качества моделирования поверхностей и целей ИОС-РВ позволяет включить до 4-х модулей с ИМС 1879BM3(DSM).

Имеется возможность имитации отраженных ЛЧМ-сигналов с эквивалентным дискретом по задержке, соответствующим менее 1 см [3] при общем диапазоне высот свыше 20 км и программном управлении ослаблением сигнала (в аттенуаторе $A2$) до 157,5 дБ.

III. Заключение

Рассмотренный комплекс реализует методы цифрового преобразования сигналов для имитации отраженных сигналов, соответствующих, в том числе, многолучевому распространению радиолокационных сигналов, при движении РЛС и/или целей по различным траекториям над подстилающими поверхностями с заданными характеристиками.

Имитация отражения от шероховатых поверхностей с достаточной степенью точности может быть обеспечена при использовании ограниченного числа каналов задержки зондирующего сигнала (для типовых серийных РВ с ЛЧМ на высоте до 50 м при девиации 180 МГц достаточно 18 каналов).

Имитатор дает возможность разработчикам исследовать поведение РВ в условиях приближенных к реальным, сократить время

отработки перспективных бортовых РЛС и многофункциональных РВС измерения параметров полета ЛА.

IV. Литература

[1] Bokov A. S., Vazhenin V. G., Dyadkov N. A. Model' radiolokacionnogo kanala dlja formirovanija signala otrazhennogo ot protjazhennogo ob#ekta [Model of radar channel for signal reflected from an extended object]. Sbornik trudov Tret'ej Vserossijskoj NTK Radiovysotometrija – 2010. Ekaterinburg, 2010. pp. 287–293.

[2] Processor 1879BM3 (DSM). Available at: <http://module.ru/upload/files/vm3.pdf> (accessed 1 May 2016).

[3] Боков А. С., Важенин В. Г., Дядьков Н. А., Мухин В.В., Щербаков Д.Е., Пономарев Л.И. Патент 2568899 (РФ). Имитатор радиолокационной цели при зондировании преимущественно длительными сигналами. Оpubл. в Б. И., 2015. № 32. 10 с.